

フランジ形状および主流とフランジの対向角が旋回流動場における フランジ付き電極の点火特性に及ぼす影響

日大生産工(院) 遠藤 恵太 日大生産工(院) 岡本 健一
日大生産工 山崎 博司 日大生産工 野村 浩司 日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

自動車用火花点火機関において燃料消費率および有害排出物の低減を目的として採用されている希薄燃焼技術では、旋回流に伴う強い乱れを用いて火炎伝播速度の促進を図っている。しかし、強い乱れで火炎核の熱損失が増大することにより、失火する可能性が大きくなる。現状では点火エネルギーの増大によって失火を回避しているが、点火系の早期劣化や電磁波障害の影響が懸念される。このことから希薄燃焼技術では、点火エネルギーを低減させ、なおかつ確実に点火させることが重要な課題となる。

過去の研究において、定容燃焼容器内の静止混合気場および主流のない乱れ場にフランジ付き電極を設置して点火実験を行い、衝撃波に消費されるエネルギーをフランジで回収することによって、点火エネルギーを低減できることを明らかにしてきた。本研究はより実機に近い旋回流動混合気場におけるフランジ付き電極の点火特性改善機構の解明を目的とする。LDVを用いた流速測定実験と既報^①における汎用流体解析ソフトを用いた数値解析によるフランジ周りの流動特性の検討と、流速測定実験に基いた点火実験を行い、フランジ形状および主流に対するフランジの対向角が点火特性に及ぼす影響を実験的に明らかにした。

2. 実験装置および方法

燃焼容器は既報^②と同様であり、ステンレス鋼(SUS303)製で、外径 150 mm、燃焼室直径 60 mm、燃焼室幅 25 mm の円筒形である。燃焼容器側面には流速測定用に石英ガラス製の観察窓(厚さ 15 mm)、燃焼室には旋回流を生成するためのノズルが燃焼室円周面に沿うように設けてある。ノズルの数(シングルノズル、ツインノズル)を変えることで 2 種類の旋回流を生成することができ、主流に対するフランジ面の対向角 α (垂直上向きを 90° とした)を変化させることができる。使用したフランジ付き電極の概略を Fig.1 に示す。通電部には直径 1 mm のステンレス線、絶縁部には直径 10 mm の碍子を用いて、火花間隙は 1 mm とした。

フランジは黄銅製で直径 9 mm、厚さ 1.6 mm の円板形と、直径 9 mm (肉厚 0.5 mm)のパイプに 4 mm の切り欠きを入れた円筒形フランジの 2 種類とした。円筒形フランジはフランジ高さ h を 3, 4, 5, 6 mm とした。

LDVを用いた流速測定実験における実験装置および方法は既報^①と同様である。また数値解析には CHAM社の POENICS Ver3.6 を使用した。

点火実験装置概略を Fig.2 に示す。実験装置は、旋回流動生成装置系、点火装置系および計測装置系の 3 系統で構成される。旋回流動生成装置系は、エアコンプレッサー、プロパンポンプ、真空ポンプ、混合気タンク、ソレノイドバルブ、エアレギュレーター、エアシリンダー、流量調整弁、ノズルおよび燃焼容器から構成される。点火装置系は、電流遮断式点火装置、バッテリー(12 V)、可変抵抗、パルスジェネレーター、ファンクションジェネレーターおよびディレイタイマーから構成される。計測装置系は、電流プローブおよびストレージオシロスコープから構成される。

点火実験は燃焼容器内、配管、エアシリンダーを一旦真空にしてプロパン-空気予混合気を充填した後に、一定圧力でエアシリンダーを押し出して旋回流を生成させ、火花間隙位置の流速が最大となるときに点火を行い、同時に、電流プローブで電流遮断式点火装置の一次電流を計測した。可変抵抗によって一次電流を変化させて、点火確率 50%となる一次電流を最小一次電流と定義した。最小一次電流と火花間隙位置における平均流速との関係を調査することにより、これを点火特性の評価方法とした。計測条件は当量比: 0.753、火花間隙位置をシングルノズルでは燃焼容器中心より 20 mm、ツインノズルでは燃焼容器中心から 5 mm の位置とし、電極の種類と流量弁開度を変化させた。

3. 実験結果および考察

3.1 対向角 α と流速抑制効果の関係

3.1.1 流速抑制効果 ($\alpha = 90^\circ$)

主流とフランジ面の対向角 $\alpha = 90^\circ$ のときの、通常電極と円板形および円筒形フランジ付き電極

Influence of Attack Angle and Flange Shape on the Ignition Properties of Flanged Electrode in Swirling Flow Field

Keita ENDOH, Kenichi OKAMOTO,

Hiroshi Yamasaki, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

を用いた流速測定実験における燃焼容器内の測定位置とフランジ間の流速の関係をFig.3に示す。横軸に燃焼容器中心からの距離、縦軸に流量弁開度2.0%のときの測定値および数値解析による平均流速を示した。Fig.3から数値解析による速度分布と測定結果はほぼ一致しており、数値的に流れ場を模擬できていることがわかる。

フランジを設置した場合、フランジがない状態と比べてフランジ間の平均流速は小さく、流れが抑制されていることがわかる。これは旋回流の主流がフランジ面に対して垂直方向に流れるので、フランジ間への主流の流入を防ぎ流速が抑制されたと考えられる。

また円板形フランジと円筒形フランジを比べると、フランジ間では円筒形フランジのほうが流速を抑制できていることが確認できる。これは円筒形フランジでは主流が円筒の曲面に沿って流れることで、円板形フランジよりもフランジ間への主流の流入が防げたためと考えられる。

円筒形フランジにおいて、それぞれのフランジ高さにおける平均流速を比べると、フランジ高さが3, 4 mmの条件が火花間隙における流速を最も抑制できていることがわかる。これは円筒端面からの巻き込み流の違いに起因するものと考えているが、詳細は今後の検討を要する。

3.1.2 流速抑制効果 ($\alpha = 0^\circ$)

対向角 $\alpha = 0^\circ$ のときの、通常電極と円板形および円筒形フランジ付き電極を用いた場合の燃焼容器内の位置とフランジ間の流速との関係をFig.4に示す。横軸に燃焼容器中心から20 mmの位置を原点としたY方向の位置、縦軸に流量弁開度2.0%のときの数値解析による流速を示した。Fig.4からフランジがない状態と円板形フランジにおける流速を比べると、円板形フランジでは流速が増大することがわかる。これはフランジ面に対して主流が平行方向に流れるため、フランジにより流路が限定され流速が増大したと考えられる。

フランジがない状態と円筒形フランジを比べると、やや増大傾向が見られるが、火花間隙付近では流速は同等であることがわかる。これは円筒形フランジ端部では流路が限定されるため流速は増大するが、火花間隙付近ではフランジの間隔は広がるため、一度増加した流速が火花間隙付近ではフランジがない状態と同等になったと考えられる。

また円筒形フランジにおいて、それぞれのフランジ高さにおける流速を比べると、流速は同等であることがわかる。円筒形フランジでは断面形状が同じである。対向角 $\alpha = 0^\circ$ における流速抑制効果はフランジの断面形状に大きく影響されると推察される。そのためフランジ高さが変化しても流速に影響が少なかったと考えられる。

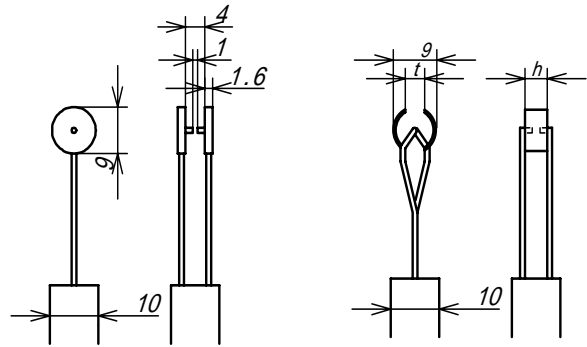


Fig.1 Flanged electrode

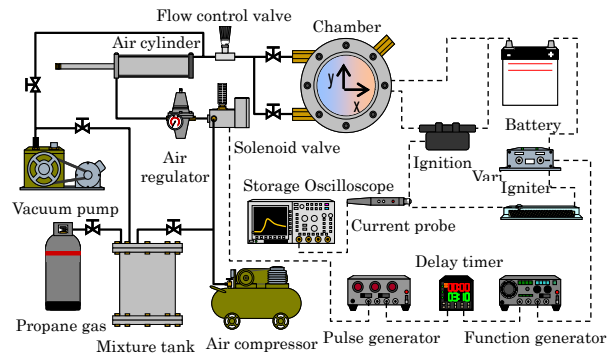


Fig.2 Experimental apparatus for spark ignition test

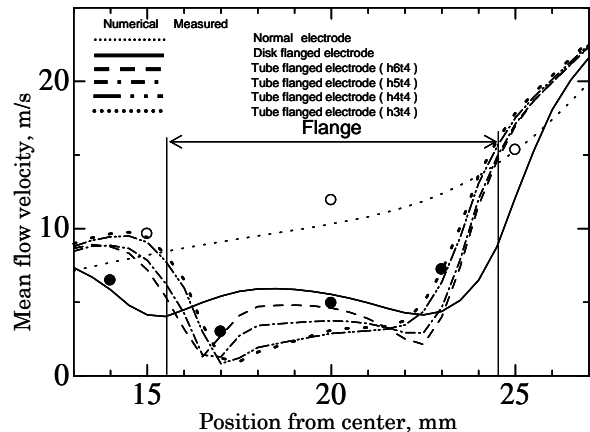


Fig.3 Flow velocity control effect ($\alpha = 90^\circ$)

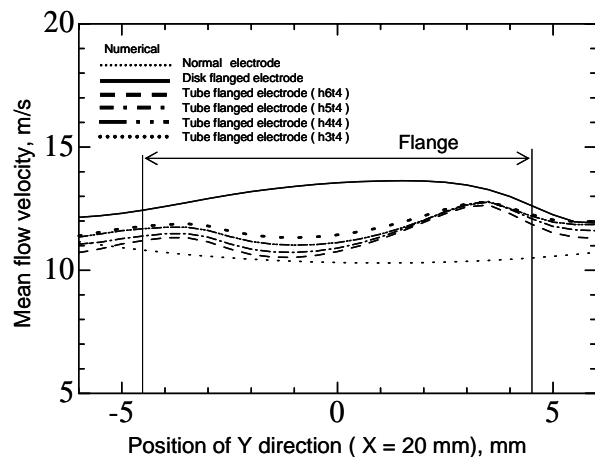


Fig.4 Flow velocity control effect ($\alpha = 0^\circ$)

3.2 対向角 α と乱れ抑制効果の関係

3.2.1 乱れ抑制効果 ($\alpha = 90^\circ$)

Fig.3 と同条件における燃焼容器内の測定位置とフランジ間の乱れ強さの関係を Fig.5, に示す. 横軸に燃焼容器中心からの距離, 縦軸に流量弁開度 2.0 % のときの測定値および数値解析による乱れ強さを示した. Fig.5 から数値解析による乱れ強さの分布と測定結果を比べると, 絶対値は異なるがほぼ同様の傾向を示している.

フランジを設置した場合, フランジがない状態と比べて測定結果と数値解析結果どちらもフランジ間の乱れ強さは増大していることがわかる. これはフランジ面に対して垂直に流れる主流が, フランジに衝突して乱れを増大したと考えられる.

また円板形フランジと円筒形フランジを比べると, 円筒形フランジのほうが流速を抑制できているにもかかわらず乱れ強さは同等か多少大きいことがわかる. これは円筒形フランジの形状が円板形フランジよりも小さいため, フランジ間に巻き込んだ主流の影響を大きく受けるためと考えられる.

円筒形フランジにおいて, それぞれのフランジ高さにおける乱れ強さを比べると, 乱れ強さは同等であることがわかる. このことから, 対向角 $\alpha = 90^\circ$ における円筒形フランジの乱れ強さ抑制効果はフランジ高さに影響されないことがわかる.

3.2.1 乱れ抑制効果 ($\alpha = 0^\circ$)

Fig.4 と同条件における燃焼容器内の位置とフランジ間の乱れ強さの関係を Fig.6, に示す. 横軸に燃焼容器中心から 20 mm の位置を原点とした Y 方向の位置, 縦軸に流量弁開度 2.0 % のときの数値解析による乱れ強さを示した. Fig.6 からフランジがない状態とフランジを設置した場合を比べると, フランジを設置すると乱れ強さは増大することがわかる. これはフランジ端部が主流と衝突するため乱れ強さが増大したと考えられる.

円筒形フランジにおいて, それぞれのフランジ高さにおける乱れ強さを比べると, 乱れ強さは同等であることがわかる. このことから, 対向角 $\alpha = 0^\circ$ における円筒形フランジの乱れ抑制効果は, フランジ高さに影響されないことがわかる.

3.3 最小一次電流低減効果

3.3.1 静止混合気場

通常電極と円板形および円筒形フランジ付き電極を用いた点火実験における平均流速と最小一次電流の関係を Fig.7, Fig.8 に示す. Fig.7, Fig.8 はそれぞれ $\alpha = 90^\circ, 0^\circ$ である. 横軸に火花間隙の平均流速, 縦軸に最小一次電流を示した. Fig.7, Fig.8 から静止場において通常電極とフランジ付き電極を比べると, 円板形および円筒形フランジ付き電極は通常電極より最小一次電流を低減できていることがわかる. これは既報³⁾におけるフランジによる衝撃波エネルギーの回収効果によるものと考

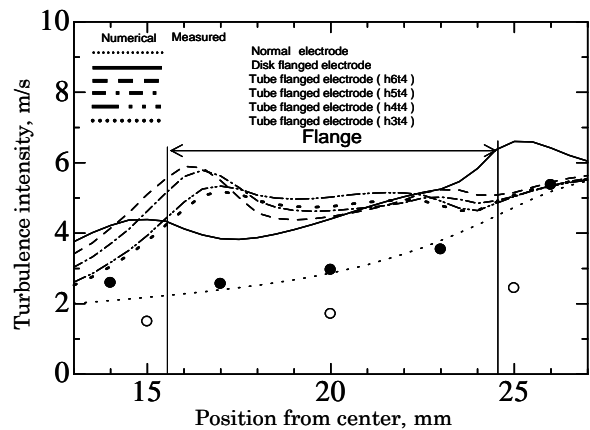


Fig.5 Turbulence intensity control effect ($\alpha = 90^\circ$)

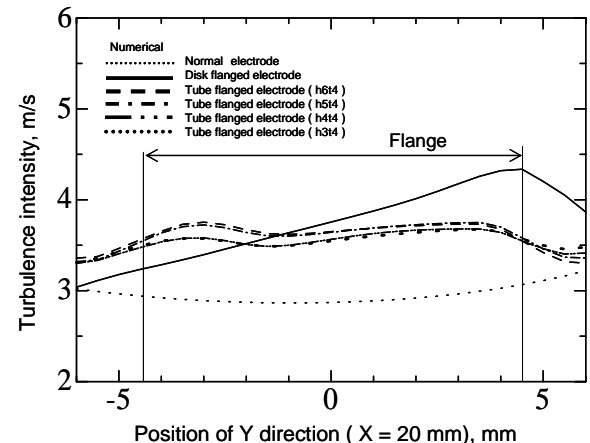


Fig.6 Turbulence intensity control effect ($\alpha = 0^\circ$)

えられる.

円板形フランジと円筒形フランジを比べると, どちらも最小一次電流は同じであることから, 円板形フランジと円筒形フランジの衝撃波エネルギーの回収効果は同等であると考えられる. 円筒形フランジでは, 既報³⁾で試みた対向窪みつき円板フランジの衝撃波エネルギーの回収効果向上策を参考としてフランジ冠面を円筒形にしたが, フランジの隙間および衝撃波の進行距離が円板電極よりも大きくなっている. そのため衝撃波の散逸と減衰が多く, 衝撃波エネルギー回収効果が減少したため, 結果的に円筒形フランジの衝撃波エネルギー回収効果は円板形フランジと同等になったと考えられる.

また円筒形フランジにおいてそれぞれのフランジ高さの最小一次電流を比べると, 最小一次電流に差は見られなかった. これはフランジ冠面が球状ではなく円筒であり, 衝撃波エネルギーの回収効果に寄与できるフランジは火花間隙近傍のみであったため, フランジ高さが変化しても衝撃波エネルギーの回収効果が変化しなかったと考えられる.

3.3.2 旋回流動場 ($\alpha = 90^\circ$)

Fig.7 から, 対向角 $\alpha = 90^\circ$ の旋回流動場において通常電極とフランジ付き電極を比べると, 円板形および円筒形フランジ付き電極は通常電極より最小一次電流を相当に低減できていることがわかる. これはある程度の流速増大による火炎核から電

極への熱損失の低減、火花間隙位置におけるフランジの流速抑制効果による火炎核から混合気への熱損失の低減および衝撃波エネルギーの回収効果が効果的に表れたと考えられる。

円板形フランジと円筒形フランジを比べると、円筒形フランジは低い流速域において円板形フランジより最小一次電流を低減できているのがわかる。円筒形フランジは円板形フランジより電極中心とフランジの距離が大きく、火炎核からフランジへの熱損失が小さくなったと考えられる。そのため火炎核から電極への熱損失が大きい低い流速域で円筒形フランジのほうが円板形フランジよりも最小一次電流を低減できたと考えられる。

円筒形フランジにおいて、それぞれのフランジ高さの最小一次電流を比べると、大きな差は見られないが、広い流速範囲でフランジ高さ 4 mm が最小一次電流を最も低減できている。これはフランジ高さ 4 mm の円筒形フランジがある程度の流速増大による火炎核から電極への熱損失の低減、火花間隙位置におけるフランジの流速抑制効果による火炎核から混合気への熱損失の低減および衝撃波エネルギーの回収効果が最も効果的に表れたためと考えられる。

3.3.3 旋回流動場 ($\alpha = 0^\circ$)

Fig.8 から、対向角 $\alpha = 0^\circ$ の旋回流動場において通常電極とフランジ付き電極を比べると、円板形および円筒形フランジ付き電極は通常電極より最小一次電流を相当に低減できていることがわかる。これはある程度の流速増大による火炎核から電極への熱損失の低減、火花間隙位置におけるフランジの流速抑制効果による火炎核から混合気への熱損失の低減および衝撃波エネルギーの回収効果が効果的に表れたと考えられる。

円板形フランジと円筒形フランジを比べると、円筒形フランジの最小一次電流は同等かそれ以下であることがわかる。これは対向角 $\alpha = 0^\circ$ の旋回流動場では、円筒形フランジの平均流速抑制効果が円板形フランジより大きいため (Fig.4 より) と考えられる。

また対向角 $\alpha = 0^\circ$ と 90° におけるフランジ付き電極を比べると、最小一次電流は同等であった。このことから、フランジ付き電極の最小一次電流低減効果は対向角 α の影響は少ないことがわかる。

4. 結言

流速測定実験および数値解析によるフランジ周りの流動特性の検討と、点火実験による旋回流動場におけるフランジ付き電極の点火特性を調べた結果、以下の結論を得た。

(1) 対向角 $\alpha = 90^\circ$ の流れにおいて、円板形および円筒形フランジは流速を抑制する効果がある。また流速抑制効果はフランジ形状に影響される。

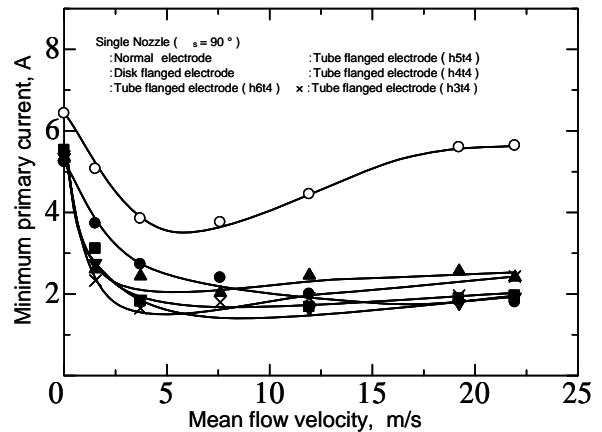


Fig.7 Minimum primary current change ($\alpha = 0^\circ$)

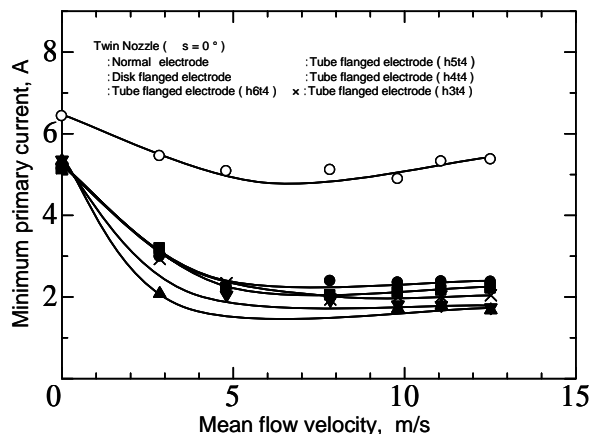


Fig.8 Minimum primary current change ($\alpha = 0^\circ$)

- (2) 対向角 $\alpha = 0^\circ$ の流れにおいて、円板形フランジは流速を増大する効果がある。
- (3) 対向角 $\alpha = 0^\circ$ の流れにおいて、フランジ高さは、円筒形フランジの流速抑制効果に影響しない。
- (3) 対向角 $\alpha = 0^\circ$ および 90° の流れにおいて、円板形および円筒形フランジは乱れを増幅する傾向がある。この乱れを増幅する現象はフランジ形状に影響される。
- (3) 静止混合気場および旋回流動場において、円板形および円筒形フランジ付き電極による最小一次電流の低減効果が得られた。また対向角 α はフランジ付き電極の最小一次電流低減効果に影響しない。
- (4) 円筒形フランジ付き電極では、フランジ高さは衝撃波エネルギー回収効果および乱れ抑制効果に影響しない。
- (5) 本実験範囲では、フランジ高さ 4 mm の円筒形フランジが最も良好な点火特性を示す。

5. 参考文献

1. 岡本・山崎・氏家ほか、第 42 回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.487-488(2004)
2. 中垣・野村・氏家ほか、第 41 回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.263-264(2003)
3. 三森・氏家・河野ほか、機講論 No.96-1, pp.559-560(1996)